

圧電素子で駆動される二本指機構によるアクティブセンシングと安定把持制御に関する研究

著者	金 永?
号	2055
発行年	1997
URL	http://hdl.handle.net/10097/7328

氏 名	Kim Young-Chul
氏 名	金 永 喆
授 与 学 位	博 士 (工 学)
学 位 授 与 年 月 日	平 成 10 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 根 拠 法 規	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項
研 究 科, 専 攻 の 名 称	東 北 大 学 大 学 院 工 学 研 究 科 (博 士 課 程) 機 械 電 子 工 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	圧電素子で駆動される二本指機構によるアクティブ センシングと安定把持制御に関する研究
指 導 教 官	東 北 大 学 教 授 長 南 征 二
論 文 審 査 委 員	主 査 東 北 大 学 教 授 長 南 征 二 東 北 大 学 教 授 加 藤 正 名 東 北 大 学 教 授 谷 順 二 東 北 大 学 教 授 猪 岡 光 東 北 大 学 助 教 授 江 鐘 偉

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 緒 論

従来, 生物工学分野などでは組織培養や細胞融合が広く行われているが, その大部分が手作業により行われており, 作業者の負担が大きく能率も十分ではない。例えばラン科の繁殖では寒天培地で播種を行いプロトコームの生成を誘導し, プロトコームの回転培養によって PLB(プロトコーム様体)を分離増殖させ, 別の培地に植え継ぎ発芽させる実生栽培が行われている。PLB は直径 1mm 以下と非常に小さいため培地の移し替え作業は熟練者にとっても困難な作業であり, ロボットによる自動化および能率化が期待されている。PLB のように個体差のある繊細な生物体をロボットが取り扱うためには無菌的に傷つけることなく微小力で把持し, かつその位置を微妙に操作できる高機能性と超精密性がロボットに要求される。また様々な環境で使用可能な機構の開発が必要である。一般に対象物を安定に把持するためには, 対象物の剛性, 質量およびグリップの把持位置等についての情報が必要である。特に柔らかくて小さい対象物を把持する場合, その質量, 剛性およびグリップの把持位置を知ることは把持を安定に行う上で重要である。このように, アクティブセンシングしながら把持対象物の情報およびグリップの把持位置に関する情報を認識できるインテリジェントグリップを開発することは今後の生物医学工学の発展の上で重要である。

本研究は上記の点に鑑み, 積層型圧電素子をアクチュエータとし把持部にフレキシブルはりを用いた二本指機構を導入, 指先端が対象物を把持した場合の機構の数学モデルを組み立てるとともに, はりの弾性変形から生ずる根元のひずみ, 指先のたわみおよび発生力の関係より対象物の剛性をアクティブに同定する方法を提案した。さらにバイモルフ型圧電アクチュエータで駆動する二本指機構を用い, 機構をアクティブに動かすことでフレキシブルフィンガに貼り付けたひずみゲージ出力を求め, そのパワースペクトル解析より固有振動数を決定し, 対象物の質量, 剛さおよび把持対象物との接触位置を同定する方法を提案した。また, 得られた情報に基づいて把持対象物を任意の位置で一定力で把持するように PID コントローラとファジィコントローラを設計し, 安定把持問題について数値計算と実験を行い比較

検討した。

第2章 積層型圧電素子で駆動される二本指機構を用いたアクティブセンシング (把持対象物の計測同定)

近年、ロボット開発の発展に伴いロボットハンドの高機能化・高精密化が計られている。ロボットハンドを用いて微細で柔らかい対象物を傷を付けずに安定に把持させるには、微妙な把持力制御と高精度な位置決め、さらには対象物の柔らかさや形状を何らかの方法で知覚する等の技術開発が必要である。しかしながらこれまでに開発された多指ハンドの多くは、アクチュエータからハンドへの動力伝達にワイヤ等の非線形性の大きい要素を用いており、これらを忠実に実現することは難しい。また多くの場合アクチュエータとしてサーボモータを用いており、小型化に限界がある。本章では、この積層型圧電素子をアクチュエータとして使用する二本指機構を導入し、アクティブセンシングに利用される機構の構成、静的および動的特性を述べている。さらにアクティブセンシングの問題の一つとして、機構の指先端が対象物を把持したときに指根元に生じる曲げひずみを測定し対象物の硬さを判断する方法を提案、曲げひずみの実験値と理論値を比較することによって対象物の等価ばね定数を同定することが可能であることを示している。

第3章 バイモルフ型圧電素子で駆動される二本指機構を用いたアクティブセンシング (柔軟微小対象物の質量と剛性の同定)

人間が微小な物体を把持し同定する場合、一般には親指と人差し指で対象物を把持し、指をアクティブに動かすことで対象物の質量や剛性を評価している。近年、生物工学分野では小型ロボットグリップを用いた作業の自動化、効率化が試みられているが、これらのグリップは単純なオンオフの把持動作を行うのみであり、把持対象物についての認識能力を有するインテリジェントグリップの開発は未だなされていない。一般に、対象物を安定に把持するためには対象物についての情報収集を行うことが必要である。たとえば柔らかくて小さい対象物を把持する場合は、その質量と剛性を知ることが把持を安定して行ううえで有効である。アクティブセンシングに関する研究は今日までいくつか行われている。

本章はアクティブセンシングの問題のひとつとして圧電素子で駆動される二本指機構を用い、機構をアクティブに動かすことでフレキシブルフィンガに貼付したひずみゲージの出力を求め、そのパワースペクトル解析より1次の同位相および逆位相モードの固有振動数を決定、把持対象物の質量と剛さを同定する方法を提案し、理論解析と実験によりその有効性を確認した。

第4章 バイモルフ型圧電素子で駆動される二本指機構とアクティブセンシングを用いた柔軟微小対象物の安定把持力制御

人間が微小で柔らかい対象物を把持し同定する場合、同一の対象物に対しても把持位置により把持力が変わらないよう調整している。一般には親指と人差し指で対象物を把持し、損傷しないよう力を加減しながら指をアクティブに動かし対象物を同定している。グリップで対象物を把持するとき、対象物とグリップの接触位置に制限をもうけなければ把持作業はさらに容易となる。さらに把持対象物の剛性や質量により把持力を調整することも必要である。このように、把持対象物の情報およびグリップの把持位

置について認識能力を有するインテリジェントグリップを開発することは今後の生物医学工学の発展のうえで重要である。一般に対象物を安定に把持するためには、対象物やグリップの把持位置等についての情報が必要である。

本章ではこの点に鑑み、第3章で提案したアクティブセンシング方法により得られた把持対象物の質量および剛さの情報を利用し、さらに機構をアクティブに動かすことでフレキシブルフィンガに貼付したひずみゲージの出力を求め、その1次の同位相モードの固有振動数より把持対象物のグリップとの接触位置を同定する方法を提案した。その有効性を理論計算と実験により確認した。また、得られた情報に基づいて把持対象物を任意の位置で規定の一定力で把持する問題にPIDコントローラとファジィコントローラを導入し、両コントローラの安定把持特性および有効性を比較検討した。

第5章 結 論

本研究では、ロボットハンドの機能を人間の手に近づけるためのテクノロジーとして、アクティブセンシングに着目し、把持対象物の情報およびグリップの接触位置について認識能力を有するインテリジェントグリップを設計し、安定把持制御を行うことを目的とした。さらに、本研究では積層型圧電素子で駆動される二本指機構を試作し解析モデルを用いて把持の指部に導入したフレキシブルはりの根元に貼り付けたひずみゲージの信号から把持対象物の剛さを同定する方法をアクティブセンシングの一つとして提案し理論解析および実験を行った。次に、バイモルフ型圧電素子で駆動される二本指機構を用いて微小で柔らかい対象物の質量、剛さおよび接触位置を同定し、さらに任意点で捕獲された対象物を一定力で安定把持するためPIDコントローラおよびファジィコントローラの特性を理論と実験で確認した。

審査結果の要旨

メカトロニクスの急速な発展に伴ない、ロボットハンドを用いて繊細で微小な生物体を安全に把持するためには指部の小型化と把持対象物に過大な把持力を加えないようなグリップを設計する必要がある。また、ロボットハンドとアクティブセンシングに関してはそれぞれ多くの研究がなされているが、ロボットハンド、アクティブセンシング、およびその情報に基づいた安定把持制御までを含めたそれらの相互関係については十分研究がなされていない。

本論文は、ロボットハンドの機能を人の手に近づけるためのテクノロジーとして、二種類の圧電素子で駆動される小型機構を用いたアクティブセンシングと安定把持制御を理論解析および実験によって解明する。またそのフィンガからの信号を解析し把持対象物の性質およびグリップの接触位置を同定するアクティブセンシング法を提案したものである。さらに得られた情報に基づいて安定把持制御をするためのPIDコントローラとファジィコントローラを組立て、両コントローラの把持特性および有用性を比較検討したものであり、全編5章からなる。

本論文の構成と内容は以下のとおりである。

第1章は緒論である。

第2章では、積層型圧電素子で駆動される二本指機構について機構の構成や静的および動的特性を調べ、さらに指先端で対象物を把持した場合の指根元に生じる曲げひずみを計測し、対象物の等価ばね定数を同定する方法を示すとともに、提案したアクティブセンシング方法の有効性を示している。これは重要な知見である。

第3章では、バイモルフ型圧電素子で駆動される二本指把持機構を用い、その機構をモデル化した運動方程式を導き、マトリクス運動方程式を連続時間系の状態方程式に変形離散化している。得られた状態方程式を用いて、指先端で対象物を把持した状態で機構をアクティブに動かし、フレキシブルフィンガに貼り付けたひずみゲージの出力を求め、得られたパワースペクトルより機構の1次の同位相および逆位相モードの固有振動数を決定、柔軟微小把持対象物の質量と剛さを同定する方法を提案し、理論解析と実験によりその有効性を明らかにしている。これは優れた成果である。

第4章では、バイモルフ型圧電素子で駆動される二本指把持機構を用い、指の任意の位置で対象物を把持した状態で機構をアクティブに動かすことでフレキシブルフィンガに貼り付けたひずみゲージ出力を求め、そのパワースペクトルより1次の同位相モードの固有振動数を決定、把持対象物とグリップの接触位置を同定する方法を提案している。また、得られた情報に基づいて柔軟微小把持対象物を指の任意の位置で規定の一定力で把持する問題にPIDコントローラとファジィコントローラを導入し、両コントローラの安定把持特性および有効性を比較検討している。これは重要な成果である。

第5章は本論文の結論である。

以上要するに本論文は、圧電素子で駆動される小型機構によるアクティブセンシングと安定把持制御のために二つの小型機構を理論解析および実験によって解明したもので、機械工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。